Agence universitaire de la Francophonie (AUF)

Bureau Moyen-Orient

UNIVERSITÉ LIBANAISE (UL)

UNIVERSITÉ SAINT-JOSEPH (USJ)

UNIVERSITÉ SAINT-ESPRIT DE KASLIK (USEK)

et

INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE PARIS-GRIGNON (INA P-G)

en partenariat avec

L'INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUE LIBANAIS (IRAL)

L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE – France (INRA)

Mémoire de Diplôme d'Études Approfondies (DEA)

CONTROLE ET GESTION DE LA QUALITÉ

« application à l'agroalimentaire »

Évaluation de la conduite centrifuge sur la performance des pommiers et le calibre des pommes au Liban – Étude économique

Présenté par : Dahlia MANSOUR

Effectué à : Agronomic research and education center (AREC)

Directeur du mémoire : M. Samir MEDAWAR

Membres du jury : M. Christo HILAN
Mme Dalida CHOUBAYA DARAZY
M. Christian DUCAUZE
Mme Yolla GHORRA
M. Gérard PASCAL
M. Rachad SALIBA

2004

Remerciements

Ma plus sincère gratitude s'adresse à Dr. Samir Medawar qui a guidé mes pas tout au long de ce travail.
J'apprécie bien ses conseils qui m'ont permis d'acquérir des bases assez sûres pour présenter ce mémoire.

Un grand merci à Dr. Pierre-Eric Lauri pour son aide et ses remarques plus que précieuses.

Je tiens à exprimer ma grande reconnaissance à Nicolas Donès dont les conseils pratiques étaient fort réconfortants, ainsi que le temps précieux et la patience qu'il m'a
accordés.

Mon affection solennelle va à mes collaborateurs de travail Ing. Jean Stephan et Ing. Gebran Nassif. A nous trois nous avons pu surmonter solidement les problèmes que nous avons confrontés.

Je n'oublierai jamais de remercier :

La direction de l'AUF qui m'a offert l'opportunité d'obtenir ce diplôme.

La direction de l'AREC qui m'a accueillie avec patience dans son verger expérimental.

Enfin, pour celle et celui qui ont sacrifié leur vie à m'élever et m'éduquer ; A mes parents, je présente ce mémoire en signe de gratitude en espérant que la semence qu'ils ont plantée germera et fournira une bonne récolte.

Dahlia

Note importante :

Ce travail a fait partie d'une thèse de doctorat effectuée par Jean STEPHAN, étudiant à l'université libanaise, encadré par M. Samir MEDAWAR, en partenariat avec INRA, HDR, UMR PIAF Clermont-Ferrand et INRA UMR BEPPC Montpellier en France, ces deux établissements représentés respectivement par M. Hervé SINOQUET et M. Pierre-Eric LAURI.

Résumé

La culture du pommier constitue une part importante dans l'économie agricole du Liban. Cependant, cette culture fait face à des problèmes vu que les variétés présentes sont très limitées et les techniques de taille n'induisent pas une fructification continuelle et de qualité.

Dans cette approche, une expérimentation a été menée, à la Bekaa centrale, sur 3 variétés de pommiers, Scarlet Spur, Golden Delicious et Granny Smith. Deux types de taille ont été pratiqués sur ces 3 variétés : taille traditionnelle ou « modified central leader » et taille centrifuge, et ceci afin d'évaluer la quantité et la qualité des fruits obtenus, ainsi que l'impact économique de chacune des 2 conduites.

Les arbres expérimentés ont subi une digitalisation à l'aide d'un dispositif approprié, qui permet de calculer le nombre des pousses, leur longueur ainsi que leur répartition dans l'architecture de l'arbre.

Les résultats obtenus ont montré que les arbres taillés par la méthode centrifuge permettent un meilleur retour en fructification pour la variété Granny Smith, ainsi qu'une réduction des pousses végétatives pour cette même variété, permettant une amélioration de la qualité des fruits.

La productivité des arbres n'a pas présenté des différences significatives entre les 2 types de conduite pour les 3 variétés.

Le calibre des fruits se trouve significativement accru chez les variétés Scarlet Spur et Granny Smith en conduite centrifuge, ce qui augmente significativement le rendement des agriculteurs.

Une meilleure pénétration de la lumière ainsi qu'un contrôle des maladies et des traitements phytosanitaires sont notés chez les arbres en conduite centrifuge, et ceci à cause de la répartition homogène des pousses dans la structure des arbres.

L'étude économique a montré que les fruits issus des arbres taillés de façon centrifuge génèrent un revenu plus élevé que ceux issus des arbres taillés de façon traditionnelle.

Des études supplémentaires sont souhaitables pour évaluer la qualité des fruits en conduite centrifuge ainsi que l'adaptation de cette conduite dans d'autres biotopes. Cette

conduite nécessite une expérimentation sur plusieurs années pour confirmer ses effets à long terme.

Mots clés : taille centrifuge, digitalisation 3D, lumière, régularité de production.

Abstract

Apple tree culture constitutes a major part in Lebanese agriculture economy. But it is facing many problems nowadays since the available varieties are very limited and pruning techniques are not leading to a continuous and qualified fruiting habit.

In this approach, an experiment was done in the central Bekaa region, on 3 apple varieties, Scarlet Spur, Golden Delicious and Granny Smith. Two pruning techniques were applied on these 3 varieties: the modified central leader technique which is the traditional pruning type in Lebanon and the centrifugal technique. The aim was to evaluate the quantity and quality of obtained fruits, as long as the economical impact of each technique.

Experimented trees were digitized with an appropriate system that gives the number of shoots, their length as long as their disposition in the tree architecture.

The obtained results showed that the trees pruned with the centrifugal technique were more appropriate to an annual fruiting habit in the variety Granny Smith, accompanied with a significant reduction of vegetative shoots with this variety, leading to a better fruit quality.

Trees productivity didn't show any difference between the 2 techniques of pruning.

Fruit size was significantly increased with the varieties Scarlet Spur and Granny Smith pruned with the centrifugal technique, leading to an increased income to farmers.

A better light penetration and a better disease control and phytosanitary treatments were showed in trees pruned with the centrifugal technique and this because of a more homogenous shoot dispersion in tree structure.

The economic study showed that trees trained with the centrifugal technique generate a higher income than those trained with the traditional technique.

Additional studies should be done in order to evaluate the quality of fruits issued from centrifugal training and the adaptation of this technique in other biotopes. This technique should be experimented several years in order to confirm its effects on long term basis.

Keywords: centrifugal training, 3D digitizing, light, regularity of bearing.

Sommaire

	Page
Remerciements	2
Note importante	3
Résumé	4
Abstract	6
Sommaire	7
1. Introduction	9
2. Problématique	11
2.1. Les variétés de pommiers au Liban	11
2.2. Le comportement de la branche fruitière	11
2.2.1. L'organisation de la ramification autour du tronc	12
2.2.2. La distribution de la fructification dans la couronne de l'arbre et son évolution au cours du temps	13
2.2.3. L'influence de la position du fruit sur sa qualité	13
2.3. La taille centrifuge : son intérêt	14
3. Matériels et méthodes	16
3.1. Site	16
3.2. Plan d'expérimentation	16
3.3. Conduite des arbres	18
3.4. Dispositif expérimental	18
3.4.1. Matériel utilisé pour la digitalisation	18
3.4.2. Etape d'initialisation	20
3.4.3. Acquisition des données	20
3.5. Digitalisation : Méthode de définition des structures végétales digitalisées	20
3.5.1. Digitalisation des arbres	20
3.5.2. Digitalisation des rameaux	21
3.6. Matériel utilisé pour mesurer le calibre des fruits	23
3.7. Logiciel utilisé pour l'interprétation statistique des résultats	23
4. Résultats	24
4.1. Contraintes expérimentales de la digitalisation	24

4.2. Performance de la culture 24
4.2.1. Nombre des pousses 24
4.2.2. Longueur des pousses 25
4.2.3. Surface foliaire 26
4.3. Qualité des fruits 26
4.3.1. Calibre des fruits 26
4.4. Répartition des pousses dans la structure des arbres 28
4.5. Etude économique 28
5. Discussion 30
5.1. Une plus grande régularité de fructification chez Granny Smith en conduite centrifuge 30
5.2. Une meilleure nutrition des fruits chez Granny Smith en conduite centrifuge 30
5.3. Un plus grand calibre des fruits chez Scarlet Spur et Granny Smith en conduite centrifuge 30
5.4. Une répartition plus homogène des pousses dans la structure des arbres en conduite centrifuge 31
5.5. Un revenu plus élevé en conduite centrifuge 31
6. Conclusion et recommandations 32
7. Références bibliographiques 34
8. Annexes 37
8.1. Annexe I 37
8.2. Annexe II 41
8.3. Annexe III 45
8.4. Annexe IV 50

1- Introduction :

La culture du pommier constitue une part importante dans l'économie agricole du Liban. Elle est la culture la plus performante en montagne libanaise (9460 ha, recensement agricole 2001). Le pommier assure une part importante dans les exportations agricoles du pays (troisième rang, recensement agricole 2001).

Cependant, depuis certaines années cette culture connaît une dégradation importante et fait face à des problèmes majeurs (Amélioration du secteur de pommes au Liban, 2002):
- Le choix variétal est très limité (Golden et Starking), ce qui constitue un facteur limitant pour l'exportation.
- Le porte-greffe utilisé (Malus domestica ou franc issu de semis) donne aux arbres une vigueur excessive et une hétérogénéité de la production, au moment où les pays occidentaux s'orientent vers les porte-greffe de sélection (MM111, M26, M9, M7) qui donnent une vigueur modérée aux arbres et une mise à fruit plus rapide.
- Le vieillissement des arbres et les méthodes de taille traditionnelles (modified central leader) ont pour conséquence une baisse et une alternance de la production et par suite une chute du rendement des arbres. Cette anarchie de taille affecte également la qualité des fruits suite à un climat lumineux au sein de l'arbre qui n'est pas favorable au développement des fruits (coloration, calibre…) (annexe I, figure 8-1-10).

Dans le contexte d'une gestion adéquate de la qualité des pommes, ce travail vise une étude comparative entre 2 méthodes de taille: la taille locale ou traditionnelle et la taille dite « centrifuge » qui se répand actuellement dans plusieurs pays occidentaux (Lauri P.E. et. al., 1998). Le but est d'évaluer la technique qui permet la meilleure croissance des pousses, la meilleure productivité des arbres et estimer la qualité des fruits, ainsi que l'adaptation de la technique centrifuge aux biotopes libanais.
D'où ce travail, mené sur une saison s'étendant de février jusqu'en août, comprenait les activités suivantes :

- Evaluation de la quantité des différentes pousses et leur croissance chez les arbres taillés par les 2 méthodes.

- Evaluation de la répartition des pousses dans la structure de l'arbre.
- Réponse de la productivité des arbres aux 2 méthodes de taille.
- Evaluation de la qualité des fruits récoltés par les arbres taillés par les 2 méthodes et ceci en analysant un des critères d'apparence : le calibre.
- Elaboration d'une évaluation économique pour comparer l'intérêt de chacune des 2 méthodes de taille sur le revenu des agriculteurs et ceci en établissant un livre comptable des dépenses et une étude de faisabilité pour s'assurer de l'impact économique de l'application de la méthode centrifuge.

2- Problématique :

2-1- Les variétés de pommiers au Liban :

Le verger libanais est constitué en majorité par 2 variétés dominantes : Golden et Starking. Cependant ces variétés ne sont plus appréciées par les marchés internationaux. D'autres variétés sont plus recommandées : Royal Gala, Gale Gala, Scarlet Spur, Super Chief, Braeburn, Granny Smith, Sun Fuji et Red Fuji (USDA, 2002).

Dans le verger expérimental de l' « Agriculture Research and Education Center » où cette expérimentation a eu lieu, 9 variétés ont été introduites depuis 5 ans, dont 3 ont été expérimentées :

Les variétés expérimentées sont:

- Golden Delicious : est caractérisé par son goût doux et sucré, avec une pulpe blanche. C'est une pomme type, très demandée au marché et facile à stocker. Elle est considérée une variété pollinisatrice idéale pour plusieurs autres variétés de pommes. Golden Delicious est prête à la récolte au Liban à 1300 m d'altitude vers mi-septembre (annexe I, figure 8-1-13).
-Scarlet Spur : c'est une variété américaine très ancienne ayant une couleur cramoisi et un goût très spécial et très bon. Son calibre est grand, sa texture est ferme et elle est récoltée vers mi-septembre (annexe I, figure 8-1-14).
-Granny Smith : très demandée pour son goût acide et sa texture ferme. Convient bien au stockage à long terme. Son calibre est grand et sa forme est arrondie. Elle est prête à la récolte vers mi-octobre (annexe I, figure 8-1-15).

2-2- Le comportement de la branche fruitière :

La conduite de l'arbre fruitier est traditionnellement conçue comme un ensemble de manipulations faites par l'arboriculteur dans le but de faire fructifier l'arbre sur la base d'une forme prédéterminée (gobelet, palmette, tatura, etc.). Ces manipulations imposent à l'arbre des règles de croissance, de ramification et de répartition de la fructification souvent très éloignées de ses aptitudes naturelles. Elles sont peu compatibles avec la situation actuelle du marché qui contraint le professionnel à un accroissement de la qualité des produits et à une diminution des coûts. Ces systèmes de verger retardent

l'entrée en fructification, ne garantissent pas la régularité de production et induisent des charges importantes. Ils s'avèrent de moins en moins adaptés au contexte économique.
Ceci renforce l'idée que l'évolution des modes de conduite doit nécessairement passer par une meilleure connaissance du comportement des cultivars, notamment :

1- l'organisation de la ramification autour du tronc,

2- la distribution de la fructification dans la couronne de l'arbre et son évolution au cours du temps,

3- l'influence de la position du fruit sur sa qualité (Lauri et. al, 1998)

Nous détaillons ces 3 facteurs pour leur importance dans la fructification et la qualité du fruit.

2-2-1- <u>L'organisation de la ramification autour du tronc:</u>

Chez le pommier, un certain nombre de branches fruitières plus ou moins ramifiées se développent autour d'un (ou plusieurs) tronc. Les branches portent les organes fonctionnels de l'année, organisés autour d'un axe plus ou moins long, et portant un nombre variable de feuilles. Ces organes sont issus du développement d'un bourgeon porté, en position latérale ou terminale, sur les pousses des années précédentes.
La classification de ces organes utilisée par les professionnels est compliquée (Gosselin, 1992). On peut toutefois retenir 3 natures principales d'unités de croissance annuelles :

- La bourse : organe court et boursouflé porteur d'une inflorescence, puis éventuellement de fruits.
- La pousse de bourse : pousse axillaire se développant sur une bourse.
- La pousse végétative : organe feuillé non florifère.

La succession de ces structures d'année en année, contrôlée en partie génétiquement (Lauri et al, 1995) est un indicateur de la régularité de fructification de l'arbre. Lorsque les organes florifères donnent l'année suivante des organes végétatifs, on parle d'alternance. Lorsque les organes florifères donnent un autre organe florifère (phénomène « bourse sur bourse »), on parle de retour à fleur (Willaume, 2003).

2-2-2- La distribution de la fructification dans la couronne de l'arbre et son évolution au cours du temps :

Dans la phase adulte de développement du pommier, les inflorescences apparaissent en différentes situations sur les rameaux : en position dite « latérale » l'année qui suit l'édification du rameau porteur, en position « terminale » sur des rameaux de longueur variable (annexe I, figure 8-1-12).
Dans tous les cas, la floraison correspond à la transformation du méristème terminal d'un axe. Toute croissance supplémentaire ne peut s'opérer qu'à partir de la pousse de bourse. Cette situation de retour à fruit indique si le cultivar considéré possède l'aptitude à une fructification régulière, tel que le cultivar Granny Smith. Des observations en verger montrent que, dans un contexte de conduite donné, l'aptitude au retour à fruit est un critère discriminant entre cultivars : elle évolue dans le temps et peut être considérablement modifiée par le mode de conduite. Un cultivar présentant une alternance de production caractérisée, peut produire régulièrement, bourse sur bourse, dès lors que les coursonnes en surnombre sont supprimées. D'où l'intérêt de l'extinction artificielle (Bassi *et al*., 1998).

De plus, la position de l'inflorescence influe significativement sur la qualité du fruit récolté : une moindre qualité est remarquée chez les fruits portés par le bois d'un an tandis qu'une meilleure qualité est remarquée chez les fruits portés par le bois plus âgé (Lauri P.E. *et al*.,1996).

2-2-3- L'influence de la position du fruit sur sa qualité :

La qualité du fruit dépend de propriétés locales reliées au microclimat de la zone du fruit (Génard *et al*., 1996). Les deux critères de qualité d'apparence sont le calibre et le taux de recouvrement par la couleur. Les producteurs savent que les plus beaux fruits sont le plus souvent situés sur les côtés de l'arbre, bien exposés à la lumière tandis que les fruits situés à l'intérieur de l'arbre sont plus petits et moins colorés.

Les pigments responsables de la coloration du fruit sont principalement les anthocyanes. Leur production est déterminée génétiquement mais ce processus est aussi dépendant des conditions lumineuses (Jackson J.E., 1980 et Saure M.C., 1990). La lumière opère par l'intermédiaire de phytochromes, un contrôle direct sur l'activité enzymatique dans la chaîne métabolique, et peut avoir un effet sur la température du fruit, donc la vitesse du métabolisme. La couleur rouge est en outre fortement liée à un meilleur contenu en sucre et à une saveur accrue. La teneur en sucres, et donc la quantité d'assimilas photosynthétiques accumulés, est aussi un facteur très important pour des réactions de synthèse d'anthocyanes très coûteuses en énergie (Saure, 1990).
En arboriculture fruitière, seul le fruit a un intérêt. La répartition des fruits dans le couvert est primordiale pour la qualité des fruits (Sansavini S. et Corelli L., 1992). Il faut donc concevoir des systèmes de culture qui favorisent l'interception lumineuse par les structures pertinentes pour la production et la formation de bourgeons floraux, et pas seulement maximiser l'interception globale et la production de matière sèche. Des frondaisons ouvertes, dont l'intérieur est bien exposé à la lumière, sont plus favorables au développement de fruits de meilleur calibre et plus colorés (Jackson, 1980).

Le système de taille pratiqué par les agriculteurs au Liban est surtout le « modified central leader » qui consiste à donner à l'arbre la forme d'un sapin. Ceci maximise l'interception de la lumière par la plupart des fruits afin de donner un maximum de couleur aux pommes (Amélioration du secteur de pommes au Liban, 2002).
Cependant, avec ce système de taille, les fruits situés à l'intérieur de l'arbre n'auront pas une part suffisante de lumière et par suite, n'auront pas le calibre et la coloration demandés. De là l'intérêt de la conduite centrifuge.

2-3- La taille centrifuge: son intérêt

La découverte depuis le début des années 1990 d'une relation positive entre un nombre élevé de bourgeons non fonctionnels (latents et éteints) et un fort retour à fruit a permis de mettre au point une conduite plus douce pour parvenir à l'équilibre mise à fruit / vigueur (Lauri P.E., Lespinasse J.M., Fouilhaux L., 1997).

Elle consiste à enlever artificiellement les coursonnes en surnombre dans le but de stimuler l'autonomie fruitière de celles qui restent.
Dans ce contexte, il est souhaitable de conserver toute la ramification de l'arbre. Ceci permettra de sélectionner et de mieux répartir les points de fructification. Les fruits sont alors en position optimale favorisant calibre et coloration tout en limitant les risques de coups de soleil.
Le travail actuel est basé sur le maintien du potentiel de ramification de l'arbre et la réalisation d'extinctions artificielles essentiellement dans les zones intérieures et basses de l'arbre. Une conception centrifuge est alors établie où la branche fruitière contribue à créer un volume productif en couronne (annexe I, figure 8-1-11).

Sur le plan pratique, l'intensité de l'extinction constitue un problème important. La méthode actuellement adoptée est proposée par le groupe MAFCOT : le dosage en fonction de la section de la branche. Cependant, cette méthode fait encore l'objet de validations (Lauri P.E. *et al.,* 2000).
La procédure consiste à répartir la croissance sur les points de fructification les mieux éclairés en enlevant les coursonnes courtes et mal placées sous la branche et à l'intérieur de l'arbre. L'intensité de cette extinction de bourgeons est déterminée à l'aide d'un équilifruit qui est un outil mesurant la section de la branche, décidant par suite le nombre de fruits à garder par unité de surface. Six fruits par cm^2 de branche se révèle être un rapport fréquemment utilisé (MAFCOT groupe, 2000).

Une étude comparative a été donc établie sur les 2 conduites de taille, traditionnelle ou « modified central leader » et centrifuge, et ceci afin d'estimer l'amélioration de la quantité et la qualité des fruits obtenus par cette nouvelle méthode, répandue en France actuellement, ainsi que leur impact économique sur les agriculteurs.

3- Matériels et méthodes:

3-1- Site :

L'étude a été menée dans un verger de pommiers expérimental, à l'«Agronomic research and education center (AREC) » de l'Université américaine, dans la région Haouch Snaïd (70 Km de Beyrouth et 1014 m d'altitude), à la Bekaa centrale. La pluviométrie moyenne est de 470 mm (station pluviométrique de l'AREC).

La superficie du verger est de 2058.75 m^2, le sol repose sur un substrat calcaire. Le verger comprend 108 pommiers, 9 variétés en combinaison avec 2 types de porte-greffe M7 et MM111.

Figure 3-1 : Verger expérimental de pommiers de l'université américaine

3-2- Plan d'expérimentation :

Un plan expérimental en lignes est adopté pour surmonter les problèmes de variabilité spatiale. Le verger est divisé en 6 lignes dont chacune comprend 18 arbres, faisant un total de 108 arbres. La distance entre les rangs est de 4.5 m et sur le rang 3.5m.

18 arbres ont été choisis pour l'expérimentation, tous sur porte-greffe M7, les variétés choisies étant : Granny Smith (type IV), Golden Delicious (type standard) et Scarlet Spur (type spur) (Lauri P.E., 1996). Chaque variété comprend 6 arbres, 3 taillés de façon traditionnelle (modified central leader) dits témoins et 3 taillés de façon centrifuge.

3-2-1- Plan du verger :

Les arbres expérimentés sont marqués en rouge et en vert : Rouge pour la conduite centrifuge et vert pour la conduite traditionnelle.

Terre en jachère								Porte-greffe sauvages
	18	BR	SC	GD	SS	GG	F	
	17	BR	SC	GD	SS	GG	F	
	16	SS	GG	RD	F	SS	Jona	
	15	SS	GG	RD	F	SS	Jona	
	14	GD	GS	BR	SC	GD	GS	
	13	GD	GS	BR	SC	GD	GS	
	12	RD	RD	Jona	Jona	SC	SC	
	11	RD	RD	Jona	Jona	SC	SC	
	10	GS	GD	SC	BR	GS	GD	
	9	GS	GD	SC	BR	GS	GD	
	8	GG	SS	F	RD	Jona	SS	
	7	GG	SS	F	RD	Jona	SS	
	6	SC	BR	SS	GD	F	GG	
	5	SC	BR	SS	GD	F	GG	
	4	F	Jona	GG	GS	BR	RD	
	3	F	Jona	GG	GS	BR	RD	
	2	Jona	F	GS	GG	RD	BR	
	1	Jona	F	GS	GG	RD	BR	
	Nb d'arbres/ ligne	**Ligne 1 sur MM111**	**Ligne 2 sur M7**	**Ligne 3 sur MM111**	**Ligne 4 sur M7**	**Ligne 5 sur MM111**	**Ligne 6 sur M7**	

Tableau 3-1 : Plan du verger expérimental de pommiers de l'université américaine

Code	Variété	Code	Variété
GS	Granny Smith	SC	Super Chief
GG	Gale gala	F	Fuji
GD	Golden Delicious	Jona	Jonagold
RD	Red Delicious	BR	Braeburn
SS	Scarlet Spur		

Tableau 3-2 : Codes des variétés expérimentées

3-3- Conduite des arbres :

Les arbres du verger ont été plantés au printemps 1999. Ils ont été taillés depuis, annuellement, en Modified central leader. En février-mars 2004, une partie des arbres a été taillée toujours de la même façon, et une autre partie en taille centrifuge (Lauri P.E., 1997). Celle-ci consiste à créer « un puits lumineux » au centre des arbres.

Les arbres ont été éclaircis juste avant d'être digitalisés c'est à dire fin mai 2004, en fin de chute physiologique, en laissant un fruit par bouquet.

La digitalisation s'est déroulée du 24 mai 2004 au 19 juin 2004.

Les pratiques culturales effectuées au verger en 2004 :

-12/1/2004 : Application d'engrais

-23-24/3/2004 : Taille des arbres

-14/4/2004 : Traitement phytosanitaire

-4/5/2004 : Traitement phytosanitaire

-24/5/2004 : Eclaircissage des fruits

-7/6/2004 : Traitement phytosanitaire

-11/5/2004 : Désherbage

-10/6/2004 : Désherbage

L'irrigation des arbres se faisait une fois par semaine, à l'aide de mini-diffuseurs (à raison d'un mini-diffuseur/ arbre).

3-4- Dispositif expérimental :

3-4-1- Matériel utilisé pour la digitalisation :

Le matériel expérimental, procuré de l'Institut National de la Recherche Agronomique U.M.R. PIAF-INRA/UBP, Clermont-Ferrand, est constitué d'un digitaliseur magnétique Polhemus 3 SPACE FASTRAK Long Ranger (Polhemus 1993). Les principaux éléments du dispositif sont (Figure 3-2) :

-un émetteur du type cube (TX2). C'est un cube en plastique d'arête 15 cm, émettant un champ magnétique de 2m de rayon environ (annexe I, figure 8-1-1)

-un capteur du type « PIAF » permettant de pointer n'importe quel point dans l'espace et de mesurer le signal émis par le transmetteur. La position du point dans l'espace peut être déduite de ce signal ainsi que l'orientation de la direction de mesure
(annexe I, figure 8-1-2)
-un boîtier central, relié à l'émetteur, au capteur, à un ordinateur et à l'alimentation électrique (annexe I, figure 8-1-3)
- Un ordinateur, qui socle les données mesurées à l'intermédiaire d'un logiciel adéquat : Pol 95 (Adam UMR PIAF INRA/UBP) (annexe I, figure 8-1-4)
- Un référentiel géométrique, constitué par une équerre rigide et un niveau à bulle (annexe I, figure 8-1-5)
- Une alimentation électrique (annexe I, figure 8-1-6).

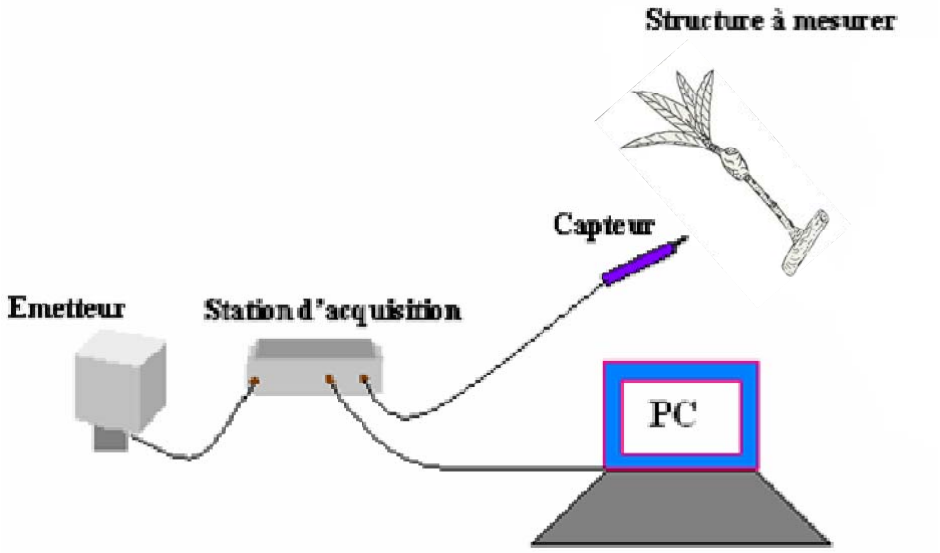

Figure 3-2 : Schéma du système de digitalisation (Source Alméras, 2001)

La mise en œuvre des mesures se fait en 2 étapes : initialisation et acquisition des données (mode d'emploi du dispositif PIAF):

3-4-2- Etape d'initialisation :

L'étape d'initialisation consiste à disposer les différents éléments et à préciser le référentiel dans lequel les coordonnées seront mesurées. L'émetteur est positionné à proximité des structures végétales à mesurer. Le système de référence est ensuite positionné de façon à ce que l'équerre soit horizontale. L'opérateur pointe alors successivement sur les trois sommets de l'équerre pour fixer le référentiel (origine et 2 directions de référence) dans lequel seront exprimées toutes les coordonnées.

3-4-3- Acquisition des données :

L'acquisition des données consiste à cliquer sur les différents points de l'espace dont on veut connaître les coordonnées. Chaque point mesuré est enregistré par l'ordinateur. Les fichiers de mesure sont des fichiers texte portant l'extension « .d3d », constitués d'un en-tête et d'un enregistrement par point mesuré. Les enregistrement sont composés de 7 colonnes indiquant : un éventuel code d'erreur, les coordonnées spatiales (X, Y, Z) du point mesuré, les angles d'Euler (A, B, C) de la direction de mesure.

Pour obtenir par exemple les angles d'insertion du limbe, il faut positionner la semelle du capteur « PIAF » orientée selon le plan moyen de la feuille, l'axe du capteur confondu avec la nervure centrale du limbe.

3-5- Digitalisation : Méthode de définition des structures végétales digitalisées :

Les types d'organes ont été classés pour faciliter l'objet de l'échantillonnage :

- les bourses, avec et sans fruit, codées respectivement **A** et **F**
- les pousses de bourses, courtes et longues : **PC** et **PL** (la limite est fixée à 4 cm)
- les rameaux végétatifs, courts et longs : **VC** et **VL** (la limite est fixée à 4 cm) (annexe I, figure 8-1-9).

3-5-1- Digitalisation des arbres :

Pour chacun des arbres, la base et le sommet de toutes les pousses de l'année 2004 ont été digitalisés (bourses, pousses de bourse éventuellement associées et rameaux végétatifs).

Le fichier Pol 95 aura la forme suivante :

#	X	Y	Z	A	B	C	Branche	Rameau	Fruit
Données du digitaliseur							Entier permettant de repérer la branche dans l'arbre	Code : A, F, PC, PL, VC, VL	Diamètre du fruit (un seul fruit par bouquet)

Tableau 3-3 : Forme du fichier Pol 95 pour la digitalisation des arbres

Ce fichier comporte 2 lignes par rameau :

-la première est le point de digitalisation correspondant à la base du rameau, elle renseigne également les colonnes « rameau »et « fruit ».

-la deuxième correspond au point de digitalisation du sommet de la pousse et ne comporte que les données issues du digitaliseur.

La colonne « Branche » renseigne uniquement sur le premier point du premier rameau de la branche (base de ce premier rameau).

A noter que les valeurs renvoyées par le digitaliseur relatives aux angles d'Eluer (A, B et C) ne seront pas utilisées dans cette partie.

3-5-2- Digitalisation des rameaux :

Cette digitalisation se fait à l'échelle foliaire sur un échantillon (à définir) d'une vingtaine de rameaux par type et par variété d'arbre. Ces fichiers servent à extraire les données nécessaires au renseignement du fichier de paramètres du logiciel « MakeGalaxy » (Sinoquet UMR PIAF INRA/UBP), Galaxy étant une variété de pommiers en France déjà digitalisée et qui a servi à la creation du logiciel FORTRAN qui reproduit des maquettes 3D des arbres et s'appelle «MakeGalaxy ». Ce logiciel permet, pour la variété Galaxy, d'estimer le nombre des pousses sans les compter. La digitalisation à l'échelle foliaire des rameaux, des points d'insertion des feuilles ainsi que les angles d'Euler, permettent d'analyser les relations allométriques entre longueur des rameaux, nombre de feuilles, longueur et largeur des feuilles, surface foliaire, selon les types de structure définies (bourses : A et F), (pousses de bourse : PC et PL) et (pousses végétatives : VC et VL). Une extrapolation de ces relations sur FORTRAN permet d'affiner « MakeGalaxy » pour chaque variété.

Le fichier Pol 95 aura la forme suivante :

Digitaliseur							Code	Nature	Longueur rameau	Nombre de feuilles	Longueur de la feuille	Largeur de la feuille
#	X	Y	Z	A	B	C	Entier permettant de repérer le rameau	A, F, PC,PL, VC, VL	Longueur du rameau mesuré en cm	Nombre de feuilles ou numéro de la feuille digitalisée		
Base rameau												
Sommet rameau												
Base pétiole 1												
Base feuille 1												
Base pétiole 2												
Base feuille 2												

Tableau 3-4 : Forme du fichier Pol 95 pour la digitalisation des rameaux

Pour chaque rameau, il y a une série de lignes comme décrite ci-dessus, les deux premières lignes correspondent aux caractéristiques du rameau. Ensuite, il y a 2 lignes par feuille.

Le premier point de digitalisation correspond à la jonction axe- pétiole, le deuxième à la jonction pétiole- limbe avec prise en compte de l'orientation de la feuille et une mesure de longueur et de largeur à la règle.

Les données du logiciel « Make Galaxy » sont ensuite lues par un logiciel nommé « Vegestar 3 » qui permet de visualiser les arbres digitalisés et distinguer, par couleur, les différents types de pousses ; l'extension des fichiers sur « Vegestar 3 » est (.VGX). Ce même logiciel servira aussi à la simulation de l'interception de la lumière (diffuse et directe) et son analyse dans le cadre de la thèse de Jean STEPHAN.

3-6- Matériel utilisé pour mesurer le calibre des fruits :

Le calibre des fruits a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse (0-150 x 0.02 mm) (annexe I, figure 8-1-8) et ceci trois fois durant la saison à intervalles d'un mois : en juin, juillet et août. Ces mesures servent à distinguer une éventuelle variation du calibre des fruits provenant des arbres taillés de façon traditionnelle (Modified central leader) et ceux provenant des arbres taillés de façon centrifuge, ainsi qu'une variation du calibre des fruits portés par le bois d'un an et ceux portés par le bois plus âgé.

3-7- Logiciel utilisé pour l'interprétation statistique des résultats :

Le logiciel utilisé pour l'interprétation statistique des résultats est le SPSS 10.0.
Ce logiciel permet de calculer les moyennes et les écart-types ainsi que distinguer les différences statistiques entre les différents échantillons traités. De plus, des graphes sont issus à partir des données obtenues.

4- Résultats :

4-1- Contraintes expérimentales de la digitalisation:

Les mesures effectuées par le dispositif expérimental PIAF sont soumises à différentes contraintes expérimentales :

-L'appareillage nécessite une alimentation électrique, ce qui pose des problèmes pratiques pour les expérimentations en plein champ. Dans notre cas, l'alimentation a été assurée par une batterie.

- L'appareil est sensible à la présence d'objets métalliques dans son champ d'action. Ce point impose des contraintes sur le choix du matériel (équerre, échelle, etc.) et sur la disposition des éléments du dispositif.

-Les mesures ne peuvent pas se faire par temps venteux car la position des rameaux n'est alors plus fixe dans l'espace, et la fiabilité des mesures se trouve fortement diminuée.

- L'appareillage est sensible aux conditions climatiques telles que la pluie ou le froid.

- Le fonctionnement du système nécessite l'implication obligatoire de 2 personnes : la première pointant le capteur et la deuxième faisant rentrer les données dans le programme Pol 95 dans l'ordinateur (annexe I, figure 8-1-7)

4-2- Performance de la culture:

4-2-1- Nombre de pousses :

Sur les rameaux végétatifs courts (vc), les rameaux végétatifs longs (vl), les pousses de bourses longues (pl), les fruits (a) et les feuilles, les résultats n'ont pas présenté de différences significatives entre la conduite traditionnelle et la conduite centrifuge et ceci pour les 3 variétés expérimentées (annexe II, figures 8-2-1 à 8-2-6). Tandis que sur les pousses de bourses courtes (pc) et les fleurs (f), des différences significatives ont été notées pour la variété Granny Smith seulement, la conduite centrifuge présentant une augmentation de 70.2 % pour les pc (figure 4-1) et 75.5 % pour les f (figure 4-2).

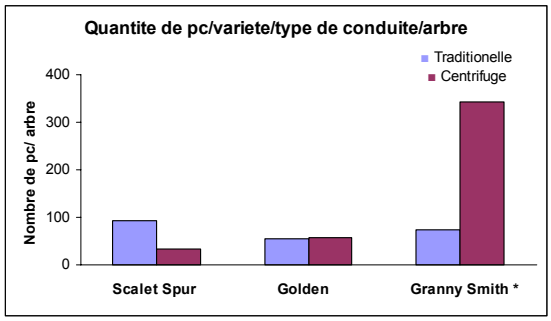

Figure 4-1: Nombre des pousses fructifères courtes/ variété/ type de conduite

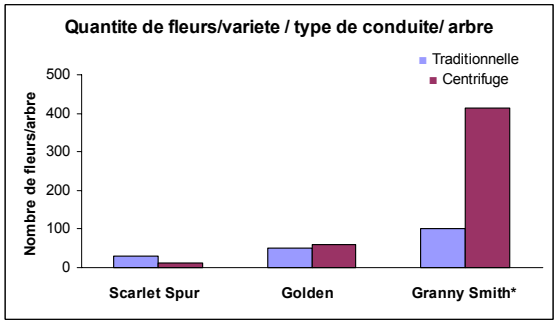

Figure 4-2 : Nombre des fleurs/ variété/ type de conduite

4-2-2- Longueur des pousses :

Sur la longueur des rameaux, le nombre de feuilles, la longueur et la largeur des feuilles, les résultats n'ont pas présenté des différences significatives pour les 6 types de pousses entre la conduite traditionnelle et la conduite centrifuge, et ceci pour les variétés Scarlet Spur et Golden (annexe II, figures 8-2-7 à 8-2-17). Tandis que pour la variété Granny Smith, la seule différence significative a été notée pour les pousses végétatives longues (vl) avec une augmentation de 39 % pour la conduite traditionnelle (figure 4-3).

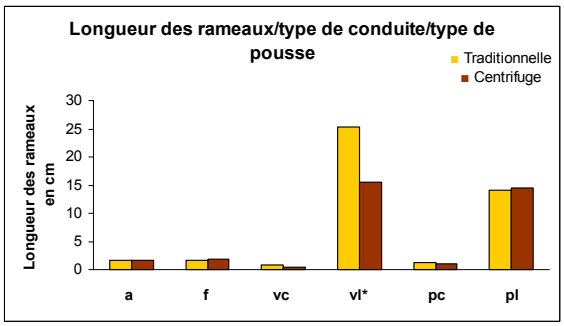

Figure 4-3 : Longueur des rameaux de Granny Smith/type de conduite/ type de pousse

* : il existe une différence significative

4-2-3- <u>Surface foliaire :</u>

La surface foliaire n'a pas présenté de différences significatives entre la conduite traditionnelle et la conduite centrifuge et ceci pour les 3 variétés expérimentées (annexe II, figure 8-2-18). Dans notre travail, nous avons exclu la surface foliaire des facteurs étudiés.

4-3- <u>Qualité des fruits :</u>

4-3-1- <u>Calibre des fruits :</u>

Trois mesures de calibre ont été prises pour les fruits : en juin, juillet et août.

Pour les mesures de juin et juillet, il n'y a pas eu de différences significatives notées entre les 2 types de conduite (annexe III, figures 8-3-4 à 8-3-9). Pour la mesure d'août, les différences significatives résident dans la variété Scarlet Spur, bois d'un an avec une augmentation de 4.5 % pour la conduite centrifuge, et bois plus âgé avec une augmentation de 5.5 % pour la conduite centrifuge (figure 4-4), ainsi que pour la variété Granny Smith, bois plus âgé avec une augmentation de 1% pour la conduite centrifuge (figure 4-5). Pour la variété Golden Delicious, pas de différences significatives notées (annexe III, figure 8-3-11)

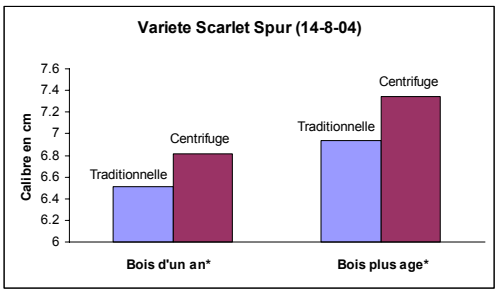

Figure 4-4: Calibre des fruits Scarlet Spur en cm(14-8-04)/ type de conduite/ type de bois

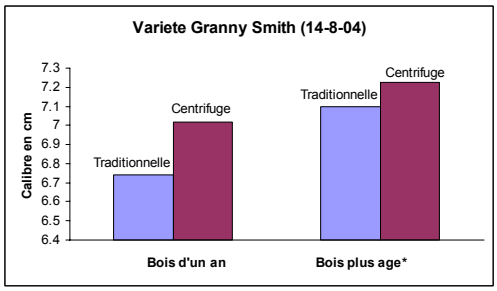

Figure 4-5: Calibre des fruits Granny Smith en cm(14-8-04)/ type de conduite/ type de bois

* : il existe une différence significative

Entre le bois d'un an et le bois plus âgé, pas de différences significatives notées dans les mesures de juin et août pour les 3 variétés (annexe III, figures 8-3-1 à 8-3-6), tandis que pour la mesure de juillet, des différences significatives ont été notées pour les 3 variétés, avec une augmentation de 7% pour le bois plus âgé chez Scarlet Spur en conduite traditionnelle et 8% en conduite centrifuge (figure 4-6), une augmentation de 7% pour le bois plus âgé chez Golden en conduite traditionnelle et 8.5% en conduite centrifuge (figure 4-7) et une augmentation de 7% pour le bois plus âgé chez Granny Smith en conduite traditionnelle et 4% en conduite centrifuge (figure 4-8).

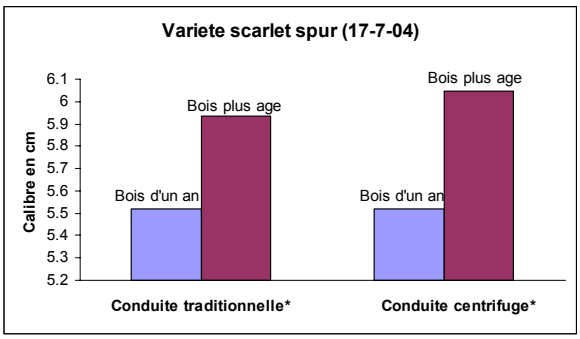

Figure 4-6: Calibre des fruits Scarlet Spur en cm(17-7-04)/ type de bois/ type de conduite

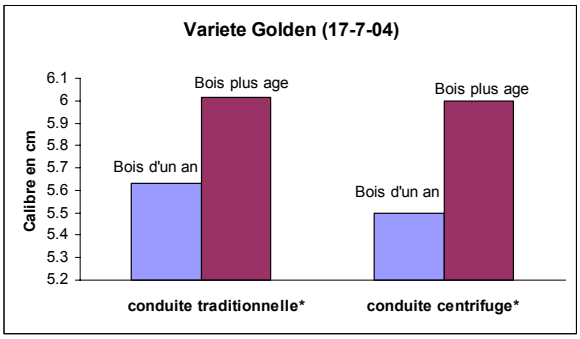

Figure 4-7: Calibre des fruits Golden en cm (17-7-04)/ type de bois/ type de conduite

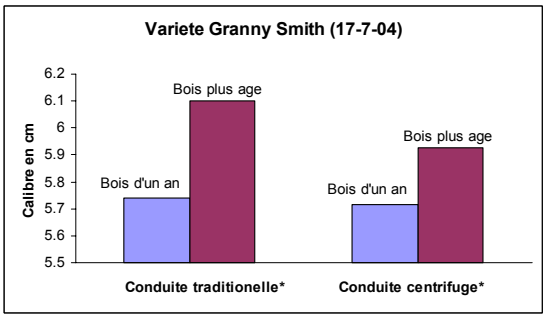

Figure 4-8:Calibre des fruits Granny Smith en cm(17-7-04)/ type de bois/type de conduite

* : il existe une différence significative

4-4- Répartition des pousses dans la structure des arbres :

L'observation des structures des arbres sur le logiciel Vegestar 3 montre chez les arbres en conduite traditionnelle des 3 variétés une concentration des fruits, fleurs, pousses fructifères courtes et longues à l'intérieur de l'arbre et une répartition des feuilles et pousses végétatives courtes et longues partout dans l'arbre (annexe IV, figures 8-4-1 à 8-4-9), tandis que chez les arbres en conduite centrifuge des 3 variétés, une répartition homogène des fruits, fleurs, pousses fructifères et longues est observée dans tout l'arbre ainsi qu'une répartition similaire pour les feuilles et les pousses végétatives courtes et longues (annexe IV, figures 8-4-10 à 8-4-18).

4-5- Etude économique :

La surface occupée par les arbres expérimentés taillés de façon traditionnelle est de 171.6 m^2. Il en est de même pour les arbres taillés de façon centrifuge. Les chiffres signalés dans cette étude sont convertis en hectare, exprimés en dollars américains.

		Taille traditionnelle	**Taille centrifuge**
Charges fixes en $ / ha			
Labour		51.1	51.1
Fertilisation		527.9	527.9
Pesticides		3376.7	3376.7
Irrigation		388.1	388.1
Eclaircissage		388.1	388.1
Désherbage		776.7	776.7
Cueillette + emballage		776.7	776.7
Charges variables en $			
Taille		776.7	388.1
Coût total des charges en $/ ha		**7062**	**6673.4**

	Prix de vente en $/ variété/ classe/ kg	**Prix de vente en $/variété/ classe/ha (Taille traditionnelle)**	**Prix de vente en $/ variété/ classe/ha (Taille centrifuge)**
Scarlet Spur classe extra	**2**	**466.2**	**611.8**
Scarlet Spur 1er choix	**1.33**	**248**	**170.5**
Scarlet Spur 2ème choix	**1**	**180.7**	**128.2**
Golden classe extra	**1.33**	**406.9**	**484.4**
Golden 1er choix	**1**	**244.7**	**291.3**
Golden 2ème choix	**0.5**	**116.5**	**139.8**
Granny Smith classe extra	**2.33**	**420.9**	**583.8**
Granny Smith 1er choix	**1.66**	**222.5**	**299.5**
Granny Smith 2ème choix	**1**	**128.2**	**169**
Chiffre d'affaire en $/ ha		**2434.6**	**2878.3**
Bénéfice en $ / ha		**-4627.4**	**-3795.1**

Tableau 4-1 : Etude économique des charges, prix de vente et bénéfices

A noter que les arbres de ce verger expérimental sont âgés de 5 ans et ne sont donc pas arrivés à leur production optimale. En tenant compte de la production optimale des pommiers (à l'âge de 10 ans), le bénéfice/ ha d'un verger en conduite traditionnelle sera de 18071 $ tandis qu'en conduite centrifuge, le bénéfice sera de 19967 $.

5- Discussion :

5-1- Une plus grande régularité de fructification chez Granny Smith en conduite centrifuge :

La variété Granny Smith, naturellement, possède l'aptitude de retour à fruit (Bassi *et al*., 1998). Cette aptitude se trouve significativement augmentée en conduite centrifuge vu l'augmentation significative du nombre des pc et f. Ce qui prouve la diminution du facteur d'alternance chez cette variété, bien que ce résultat se trouve absent chez les variétés Scarlet Spur et Golden Delicious. L'effet variétal a trouvé son importance dans ce résultat et des expériences supplémentaires sur la conduite centrifuge de la variété Granny Smith doivent être établies pour prouver ce résultat dans d'autres biotopes.

5-2- Une meilleure nutrition des fruits chez Granny Smith en conduite centrifuge :

La nutrition des fruits par la sève se trouve favorisée quand les pousses végétatives occupent une moindre surface. La longueur des pousses vl chez Granny Smith en conduite centrifuge se trouve significativement diminuée, ce qui permet aux réserves nutritives d'être conduites vers les fruits, grâce à un équilibre entre les 2 hormones de croissance auxine et gibbérelline, conduisant à une meilleure qualité des fruits en calibre, coloration et quantité de sucres (Sansavini S. et Corelli L., 1992).

5-3- Une productivité similaire des arbres tailles de façon centrifuge et de façon traditionnelle :

La productivité des arbres issus des 2 types de conduite n'a pas présenté des différences significatives. Peut être la première cueillette après la taille, les différences ne sont pas remarquables; l'année prochaine, on devra expérimenter la différence de productivité.

5-4- Un plus grand calibre des fruits chez Scarlet Spur et Granny Smith en conduite centrifuge :

Les fruits issus des arbres taillés de façon centrifuge ont vu une augmentation significative du calibre chez les variétés Scarlet Spur et Granny Smith. Ceci est dû à la réduction du nombre des fruits à l'intérieur de l'arbre lors de l'extinction en favorisant les fruits extérieurs, les plus exposés à la lumière (Sansavini S. et Corelli L., 1992). L'effet

positif de cette technique conduit à un résultat important sur le plan économique : la mesure du calibre est divisée en classes (CEE-ONU, 2002). Cette augmentation de 1 à 5.5% du calibre des fruits permet de passer d'une classe de calibre à une classe supérieure, augmentant par suite le revenu des agriculteurs.

Concernant la différence entre le bois d'un an et le bois plus âgé, la différence significative de la mesure de juillet seulement n'est un résultat suffisant. Une mesure supplémentaire juste avant la récolte devrait être effectuée pour conclure un résultat final.

5-5- Une répartition plus homogène des pousses dans la structure des arbres en conduite centrifuge :

Les pousses sont réparties de façon plus homogène dans la structure des arbres en conduite centrifuge tandis qu'une concentration des pousses au centre de l'arbre est remarquée dans la structure des arbres en conduite traditionnelle. Ceci est dû à l'extinction effectuée en conduite centrifuge, éliminant les pousses situées à l'intérieur de l'arbre pour une meilleure répartition des pousses dans l'architecture de l'arbre. La répartition homogène des pousses permet un meilleur éclairage, une meilleure pénétration du soleil, un meilleur contrôle des maladies et des traitements phytosanitaires.

5-6- Un revenu plus élevé en conduite centrifuge :

Les chiffres obtenus dans l'étude économique montrent une perte dans les 2 types de conduite pour cette saison. Cette perte est due au faible rendement obtenu cette année vu que les arbres, âgés de 5 ans, ne sont pas arrivés à leur production optimale.

Cependant, la perte est plus réduite chez les arbres en conduite centrifuge et ceci pour les raisons suivantes :

- Les frais de taille se trouvent réduits en conduite centrifuge vu que la main d'œuvre est réduite.
- L'augmentation du calibre des fruits en conduite centrifuge (sauf pour la variété Golden Delicious) mène à une meilleure classification des fruits en classes de calibre. Ceci a pour résultat une augmentation du rendement des agriculteurs.

Les bénéfices obtenus par les arbres âgés de 10 ans sont plus élevés en conduite centrifuge pour les raisons citées avant.

6- Conclusion et recommendations :

La comparaison entre les 2 types de conduite traditionnelle et centrifuge pour les variétés Scarlet Spur, Golden Delicious et Granny Smith a donné des résultats intéressants, notamment chez la variété Granny Smith, qui seraient utiles à prendre en considération dans de futurs projets :

- Une plus grande régularité de fructification a été notée chez la variété Granny Smith en conduite centrifuge, diminuant ainsi l'alternance de production.
- Les fruits de la variété Granny Smith en conduite centrifuge sont mieux nourris et par suite, acquièrent une qualité supérieure.
- La productivité des arbres n'a pas montré une différence entre les 2 méthodes de taille.
- Les fruits de la variété Granny Smith et Scarlet Spur ont un calibre plus grand en conduite centrifuge. Ce qui augmente le rendement des agriculteurs. Cependant, l'observation des fruits juste avant la récolte a montré des fruits de classe extra atteints de coups de soleil, ce qui les rend non commercialisables.
- La répartition des pousses en conduite centrifuge est plus homogène, permettant une meilleure pénétration du soleil et un meilleur contrôle des maladies et des traitements phytosanitaires.
- Le bénéfice des agriculteurs se trouve accru en conduite centrifuge plus que la conduite traditionnelle.

Des expériences supplémentaires doivent être effectuées pour confirmer les résultats présents et pour déduire de nouveaux résultats :

- La conduite centrifuge, couplée à l'application des engrais foliaires (Daher, 2001), pourra contribuer à augmenter encore plus le rendement des agriculteurs, vu que l'application des engrais foliaires seule, a montré une augmentation du rendement de 30%.
- L'analyse de qualité des fruits doit être effectuée tels la quantité de sucres et le taux d'acide malique pour confirmer la meilleure qualité des fruits obtenus en conduite centrifuge.

- La digitalisation doit être répétée sur ces mêmes arbres l'année prochaine et celle d'après pour voir si les effets de la conduite centrifuge peuvent être remarqués un ou 2 ans après la taille.
- La digitalisation doit être effectuée sur ces mêmes variétés en montagne libanaise qui est le biotope idéal pour la culture des pommiers, pour évaluer les effets de la conduite centrifuge dans des biotopes différents et confirmer par suite ses effets.

7- Références bibliographiques :

- **Bassi *et al*.,** *Tree structure and orchard management influence yield and fruit quality*, 11ème colloque sur les recherches fruitières, INRA-Ctifl, 1998.
- **CEE-ONU***, Norme CEE-ONU FFV-50 concernant la commercialisation et le contrôle de la qualité commerciale des pommes*, 2002.
- **Daher C.,** *Effets des engrais foliaires sur l'amélioration de la qualité des pommes au Liban,* mémoire de fin d'études inédit, USEK, 2001.
- **Génard M., Huguet J.G., Laurent R.,** «Modelling the fresh matter accumulation for peach fruit growth»*, Acta Horticulturae,* volume 416, p. 95-101, 1996.
- **Gosselin H.J.,** *Le bon jardinier,* Editions La maison rustique, 1992.
- **Hucbourg B. *et al*.,** « L'assurance de la maîtrise des objectifs de production », *Réussir fruits et légumes*, numéro 216, p. 89-92, Mars 2003.
- **Hucbourg B., Montagnon J.M.,** « Elstar et ses mutants », *Réussir fruits et légumes,* Juin 2003.
- **Jackson J.E., «** Light interception and utilization by orchard systems», *Horticultural Reviews*, volume 2, p. 208-267, 1980.
- **Lauri P.E. *et al*.,** « An ecomonic interest of architectural study and modelling of fruit trees », *Acta Horticulturae*, numéro 340, 1992.
- **Lauri P.E., Lespinasse J.M., Térouanne E.,** « Quantitative analysis of relationship between inflorescence size, bearing axis size and fruit-set-An apple tree case study », *Annals of botany*, volume 77, p. 277-286, 1996.
- **Lauri P.E., Lespinasse J.M.,** « Influence of fruiting habit on the pruning and training of apple trees », *Compact fruit tree*, volume 29, p. 75-82, 1996.
- **Lauri P.E. *et al*.,** « Relationship between the early development of apple fruiting branches and the regularity of bearing-An approach to the strategies of various cultivars», *Journal of horticultural science*, volume 72 (4), p. 518-530, 1997.
- **Lauri P.E., Lespinasse J.M., Fouilhaux L.,** « Vers un meilleur contrôle de la fructification », *L'arboriculture fruitière*, p.37-42, novembre 1997.

- **Lauri P.E., Lespinasse J.M.,** *L'arbre fruitier et sa conduite en verger- évolution des concepts. L'exemple des pommiers*, 11ème colloque sur les recherches fruitières, INRA- Ctifl, 1998.
- **Lauri P.E., Lespinasse J.M.,** « Intérêt agronomique de la branche fruitière du pommier pour une production régulière et de qualité », *Revue suisse de viticulture, d'arboriculture et d'horticulture*, volume 31 (3), p.161-166, 1999.
- **Lauri P.E., Térouanne E.,** « Effects of inflorescence removal on the fruit set of the remaining inflorescences and development of the laterals on one year old apple (Malus domestica) branches », *Journal of horicultural science and biotechnology*, volume 75 (1), p.110-117, 1999.
- **Lauri P.E., Lespinasse J.M.,** « The vertical axis and solaxe systems in France », *Acta horticulturae* 513, p.287-296, ISHS 2000.
- **Lauri *et al.,*** « Le point sur l'extinction »,*Réussir fruits et légumes*, p. 82, Janvier 2001,
- **Lauri P.E. *et al*.,** « Conduite centrifuge avec extinctions », *Réussir fruits et légumes*, Avril 2003.
- **Lauri P.E. *et al*.,** « La date de l'extinction influence les résultats agronomiques », *Réussir fruits et légumes,* p. 34, mai 2003.
- **Lauri P.E. *et al*.,** « Caractères pour décrire et analyser le fonctionnement de l'arbre », *Réussir fruits et légumes,* p. 42-43, juin 2003.
- **MAFCOT groupe,** « MAFCOT POMMIER : Extinction et conduite centrifuge », *Réussir fruits et légumes*, Février 2000.
- **Ministère de l'agriculture libanais**, *recensement agricole*, 2001.
- **Rousseau L.P.,** *Le Pommier : culture, taille, variétés*, Editions Rustica, Paris, 1996.
- **Sansavini S., Corelli L.,** « Canopy efficiency of apple as affected by micro-climatic factors and tree structure », *Acta horticulturae*, numéro 332, p. 68-77, 1992.
- **Saure M.C.,** «External control of anthocyanin formation in apple», *Scientia Horticultura*, volume 42 (3), p. 181-218, 1990.

- **Stuart Tustin D., Hirst P., Warrington I.,** « Influence of orientation and position of fruiting laterals on canopy light penetration, yield and fruit quality of Granny Smith apple », *J. Amer. Soc. Hort., Sci*., volume 113 (5), p. 693-699, 1988.
- **United States department of agriculture,** *United States standards for grades of apples*, 2002.
- **United States department of agriculture, Mercy Corps, INDEVCO foundation, American University of Beirut, IDAL,** *Amélioration du secteur de pommes au Liban*, 2002.
- **Willaume M.,** *Modification du fonctionnement florifère du pommier cv. Galaxy par la technique de l'extinction artificielle- Analyse agronomique et corrélation avec le climat lumineux,* mémoire DEA inédit, INAP-G, 2003.

8- Annexes :

8-1- Annexe I :

8-1-1- Figures relatives aux matériaux et méthodes :

Figure 8-1-1 : Emetteur du type cube (TX2)

Figure 8-1-2 : Capteur du type PIAF

Figure 8-1-3 : Boîtier central

Figure 8-1-4 : Un ordinateur

Figure 8-1-5 : Un référentiel géométrique

Figure 8-1-6 : Une alimentation électrique

Figure 8-1-7 : L'implication obligatoire de 2 personnes pour la digitalisation.

Figure 8-1-8 : Pied à coulisse permettant de mesurer le calibre des fruits.

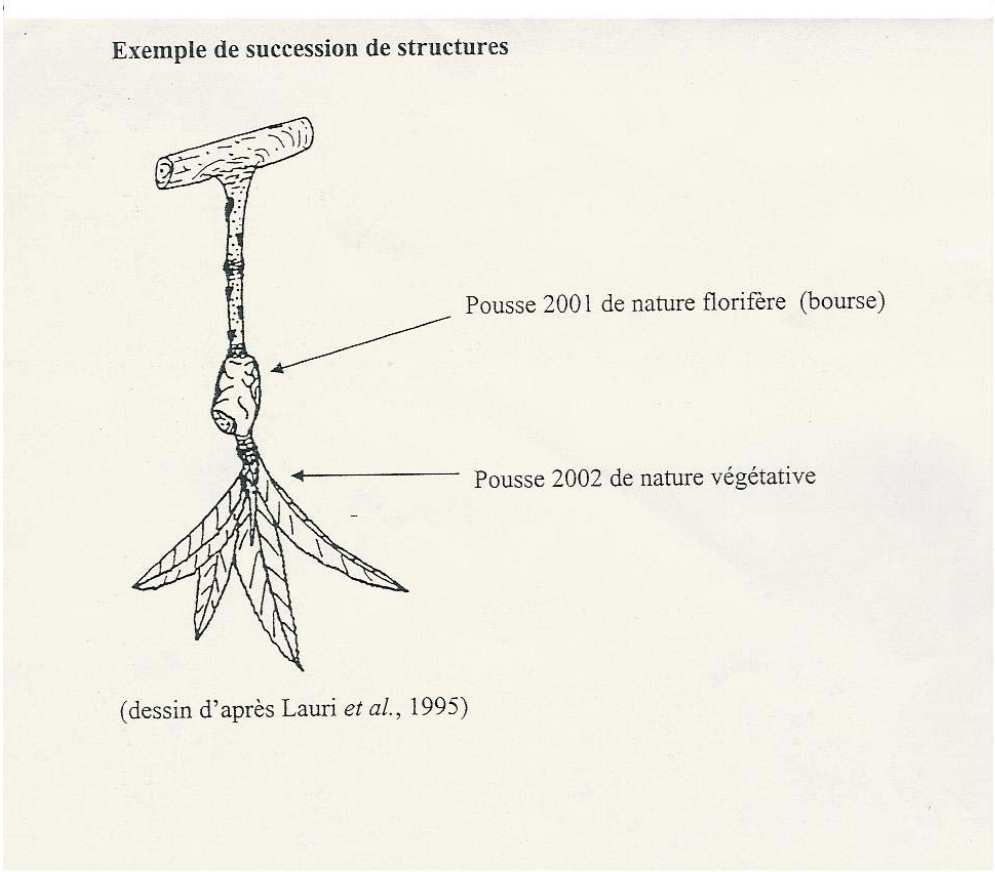
Exemple de succession de structures
Pousse 2001 de nature florifère (bourse)
Pousse 2002 de nature végétative
(dessin d'après Lauri *et al.*, 1995)

Figure 8-1-9 : Rameau portant une pousse florifère et une pousse végétative.

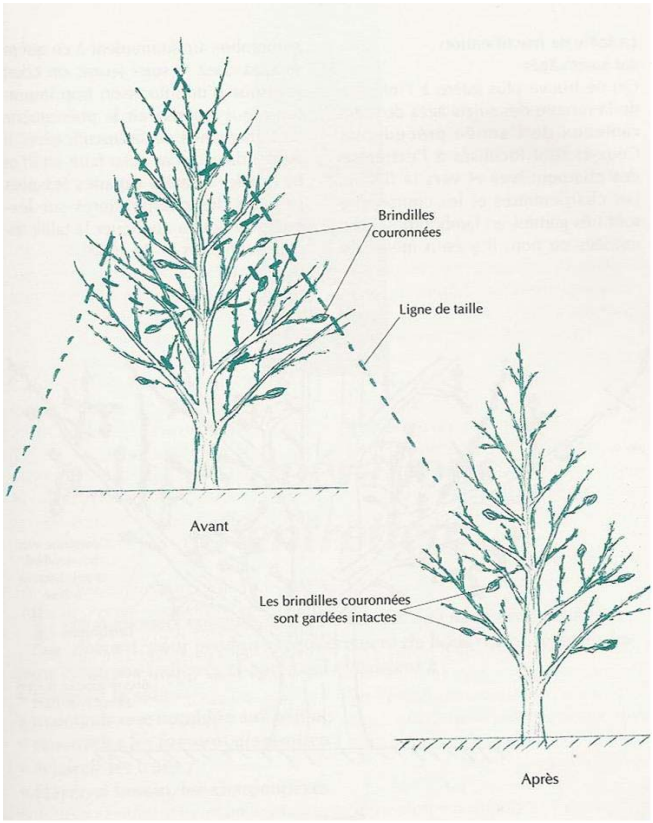

Figure 8-1-10 : Taille de formation et de fructification « Modified central leader »

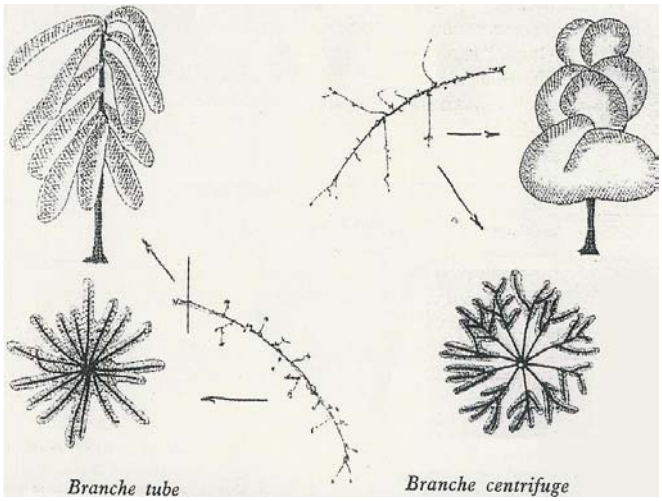

Figure 8-1-11 : Représentations schématiques des branches et des arbres en conduite « tube » ou traditionnelle et en conduite « centrifuge »

Figure 8-1-12 : Inflorescence en position terminale âgée d'un an et inflorescence en position latérale plus âgée

Figure 8-1-13 : Variété Golden Delicious

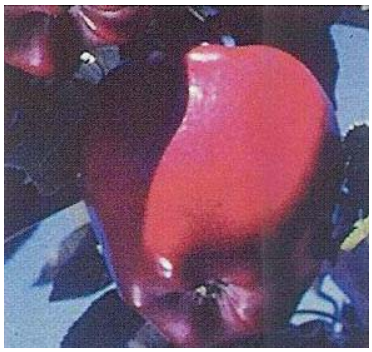

Figure 8-1-14 : Variété Scarlet Spur

Figure 8-1-15 : Variété Granny Smith

8-2- Annexe II:

8-2-1- Nombre de pousses/ variété/ type de conduite/ arbre :

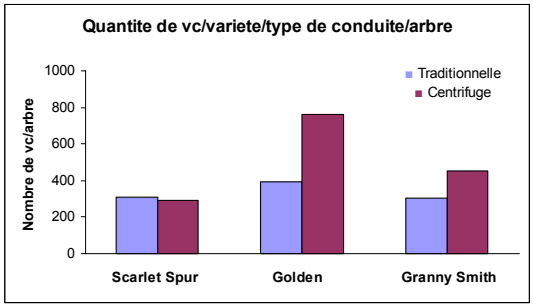

Figure 8-2-1 : Nombre de vc/ variété/ type de conduite/ arbre

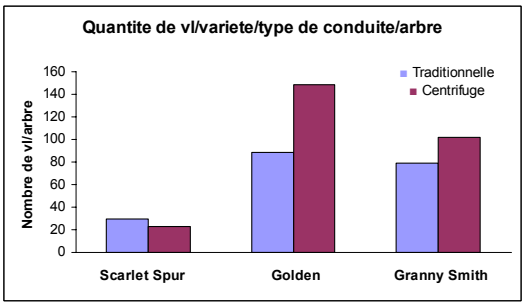

Figure 8-2-2 : Nombre de vl/ variété/ type de conduite/ arbre

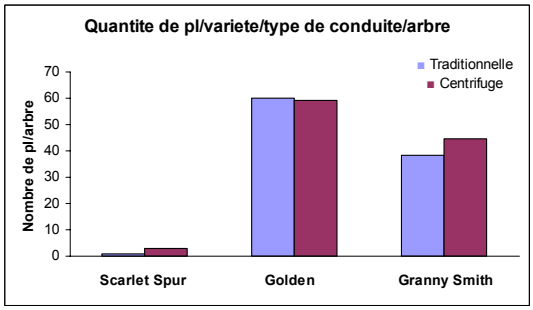

Figure 8-2-3 : Nombre de pl/ variété/ type de conduite/ arbre

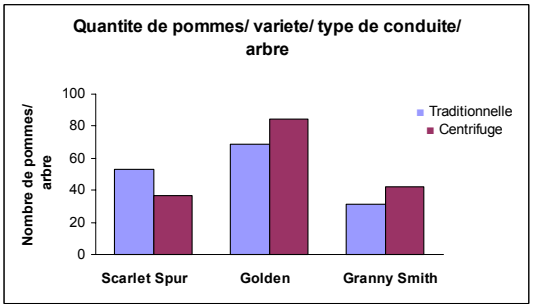

Figure 8-2-4 : Nombre des a/ variété/ type de conduite/ arbre

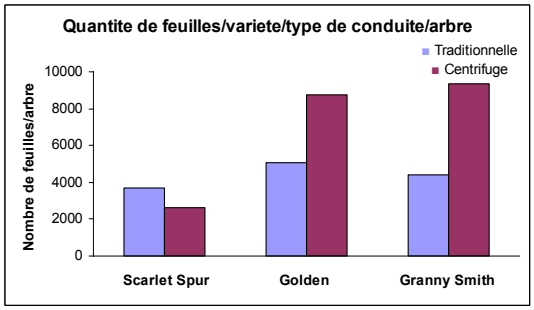

Figure 8-2-5 : Nombre de f/ variété/ type de conduite/ arbre

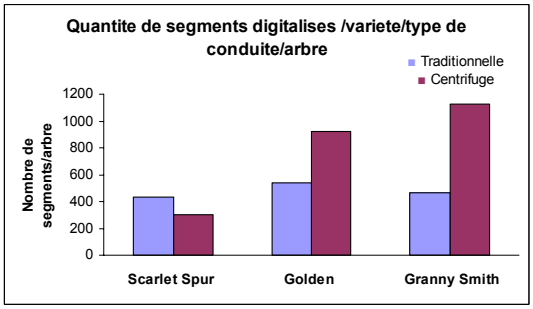

Figure 8-2-6 : Nombre de segments digitalisés/variété/ type de conduite/ arbre

8-2-2- Longueur des rameaux, nombre des feuilles, longueur et largeur des feuilles/ variété/ type de conduite/ type de pousse :

8-2-2-1 : Variété Scarlet spur:

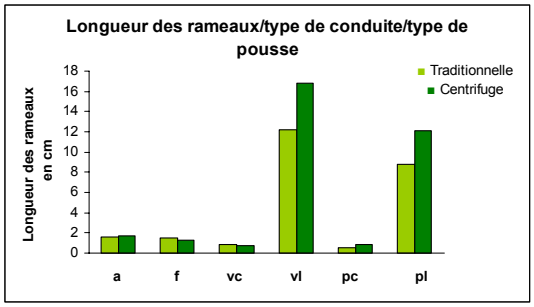

Figure 8-2-7 : Longueur des rameaux/ type de conduite/ type de pousse

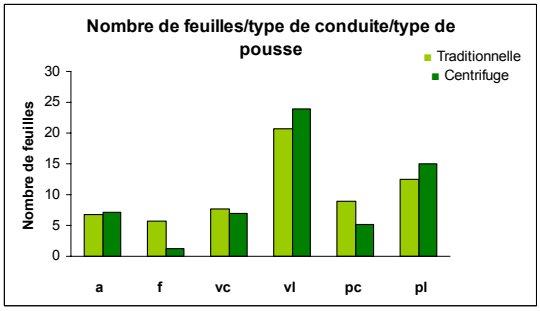

Figure 8-2-8 : Nombre de feuilles/ type de conduite/ type de pousse

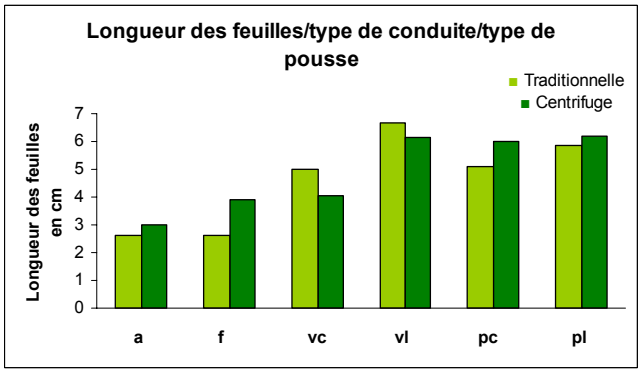

Figure 8-2-9 : Longueur des feuilles/ type de conduite/ type de pousse

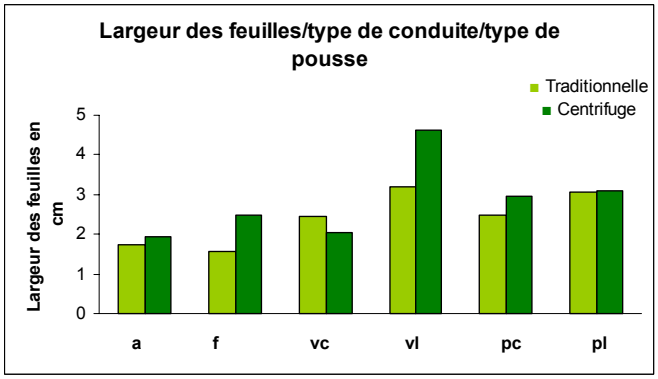

Figure 8-2-10 : Largeur des feuilles/ type de conduite/ type de pousse

8-2-2-2 : Variété Golden Delicious:

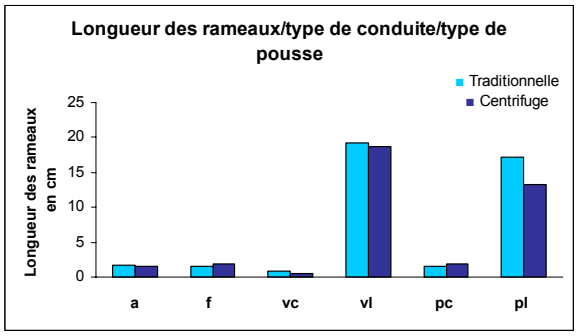

Figure 8-2-11 : Longueur des rameaux/ type de conduite/ type de pousse

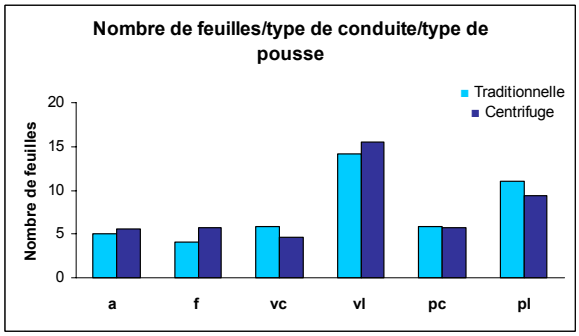

Figure 8-2-12 : Nombre des pousses/ type de conduite/ type de pousse

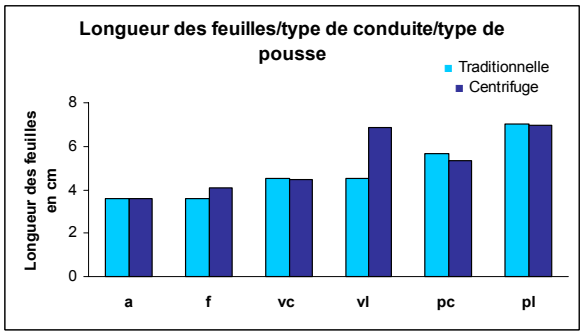

Figure 8-2-13 : Longueur des feuilles/ type de conduite/ type de pousse

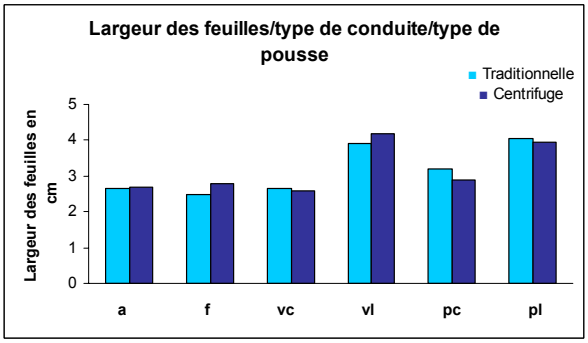

Figure 8-2-14 : Largeur des feuilles/ type de conduite/ type de pousse

8-2-2-3 : Variété Granny Smith:

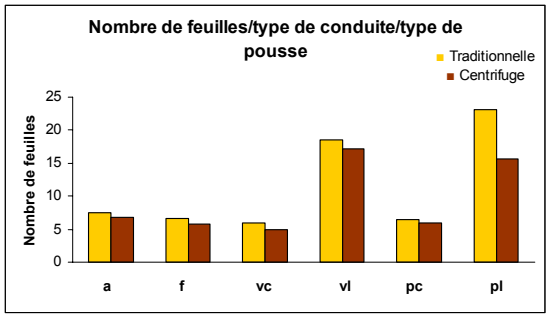

Figure 8-2-15 : Nombre de feuilles/ type de conduite/ type de pousse

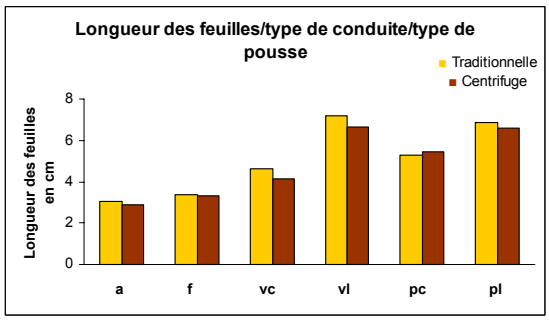

Figure 8-2-16 : Longueur des feuilles/ type de conduite/ type de pousse

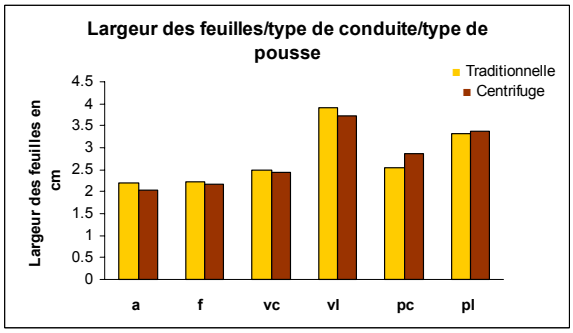

Figure 8-2-17 : Largeur des feuilles/ type de conduite/ type de pousse

8-2-3- Surface foliaire/ variété/ type de conduite:

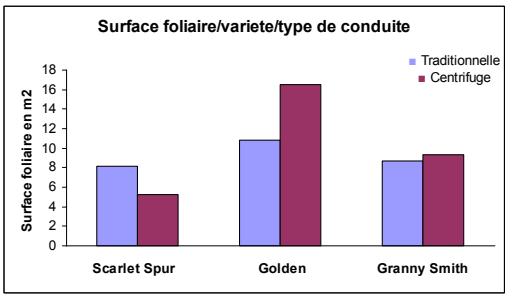

Figure 8-2-18 : Surface foliaire/ variété/ type de conduite

8-3- Annexe III :

8-3-1- Calibres des fruits :

8-3-1-1- Différence de calibre des fruits entre le bois d'un an et le bois plus âgé (19-6-04):

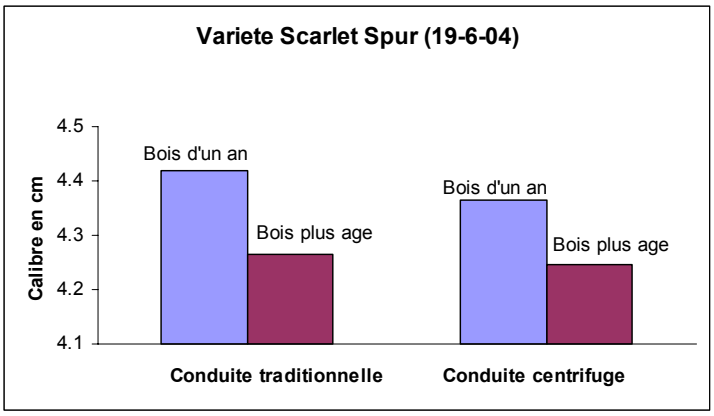

Figure 8-3-1 : Calibre des fruits Scarlet Spur en cm / type de bois/ type de conduite

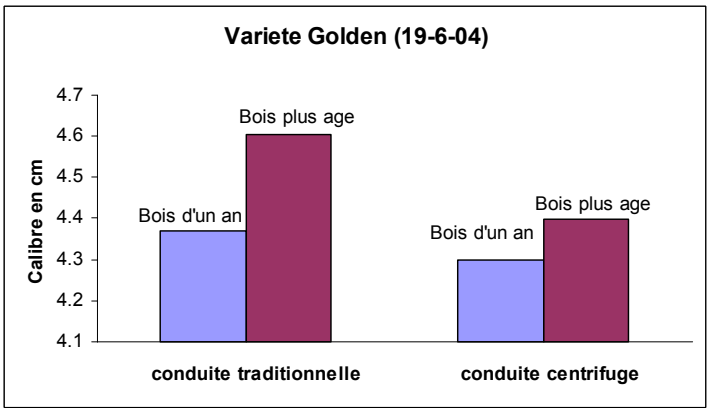

Figure 8-3-2 : Calibre des fruits Golden Delicious en cm/ type de bois/ type de conduite

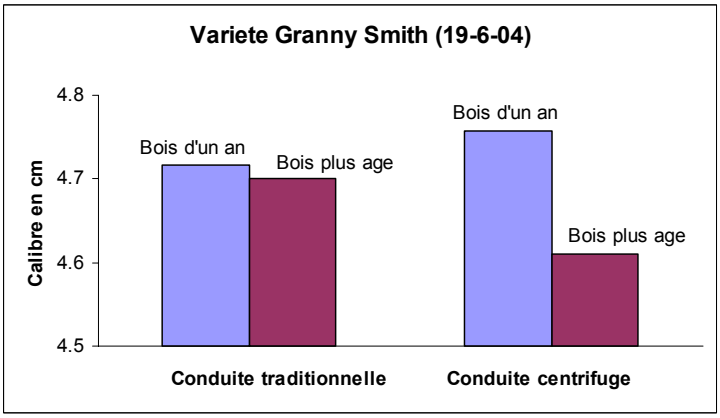

Figure 8-3-3 : Calibre des fruits Granny Smith en cm / type de bois/ type de conduite

8-3-1-2- Différence de calibre des fruits entre le bois d'un an et le bois plus âgé (14-8-04):

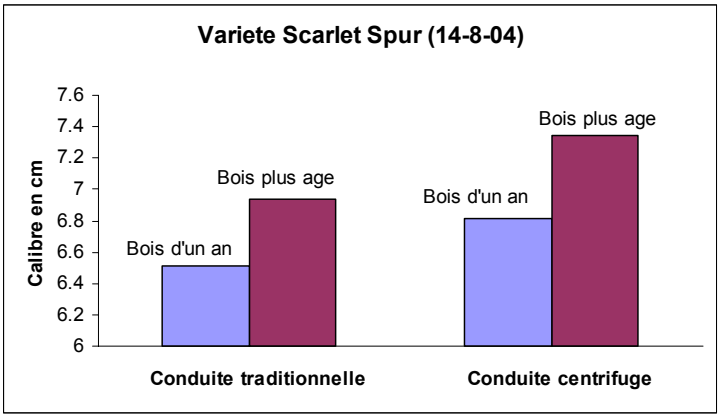

Figure 8-3-4 : Calibre des fruits Scarlet Spur en cm / type de bois/ type de conduite

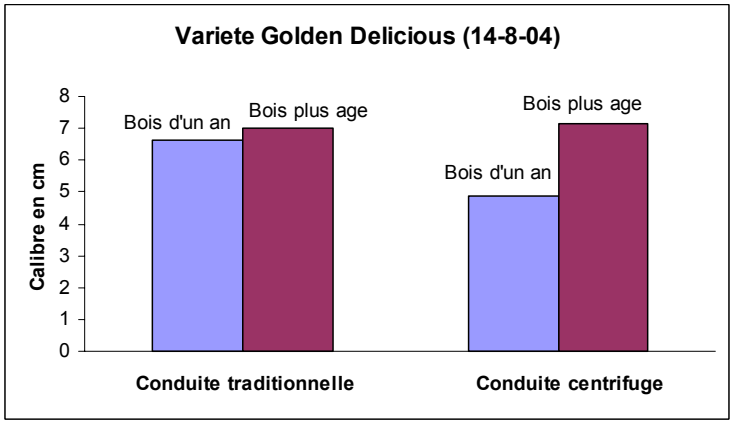

Figure 8-3-5 : Calibre des fruits Golden Delicious en cm/ type de bois/ type de conduite

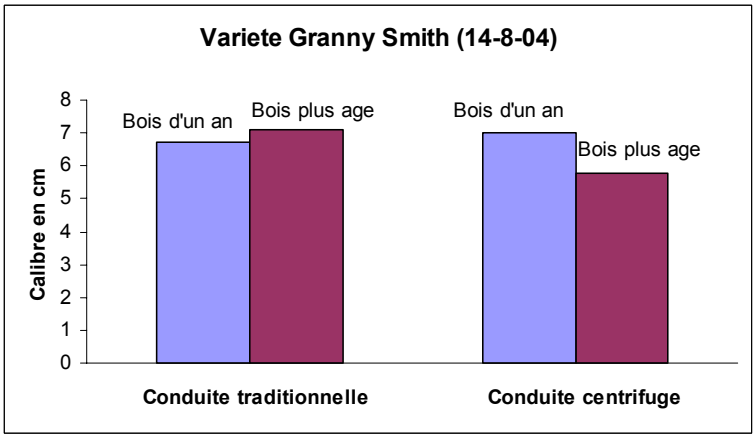

Figure 8-3-6 : Calibre des fruits Granny Smith en cm / type de bois/ type de conduite

8-3-1-3- <u>Différence de calibre des fruits entre la conduite traditionnelle et la conduite centrifuge :</u>

8-3-1-3-1 : <u>Variété Scarlet Spur :</u>

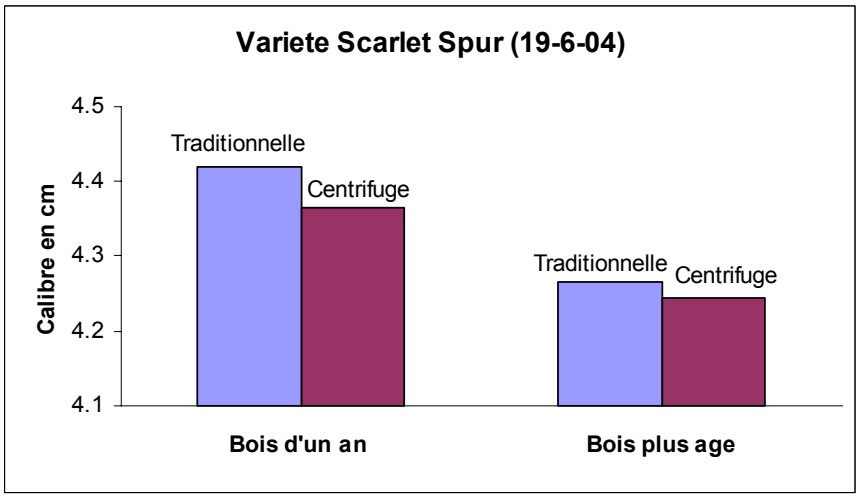

Figure 8-3-7 : Calibre des fruits en cm (19-6-04)/ type de bois/ type de conduite

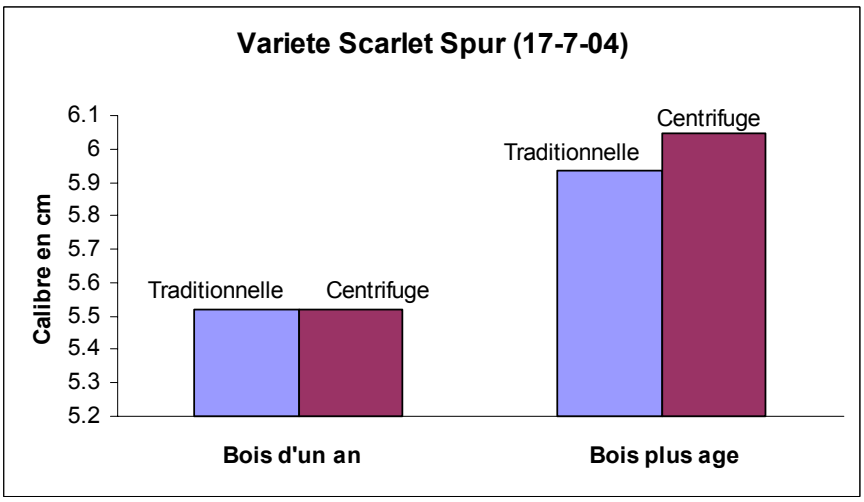

Figure 8-3-8 : Calibre des fruits en cm (18-8-04)/ type de bois/ type de conduite

8-3-1-3-2 : <u>Variété Golden Delicious :</u>

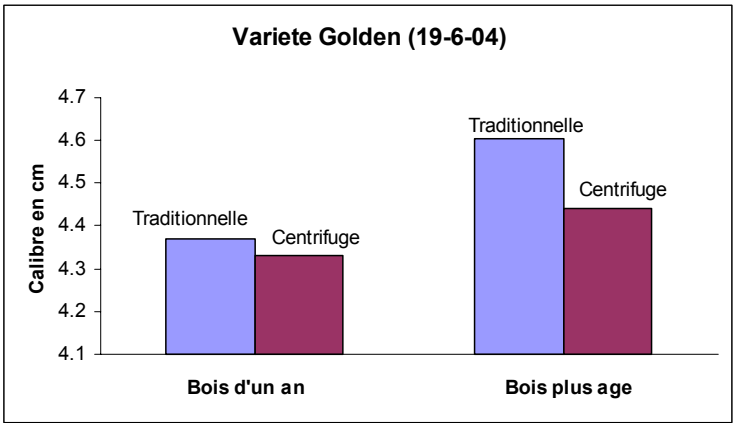

Figure 8-3-9 : Calibre des fruits en cm (19-6-04)/ type de bois/ type de conduite

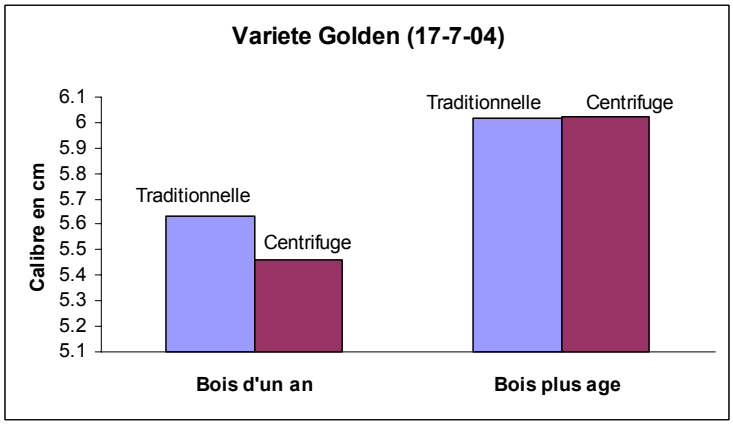

Figure 8-3-10 : Calibre des fruits en cm (18-8-04)/ type de bois/ type de conduite

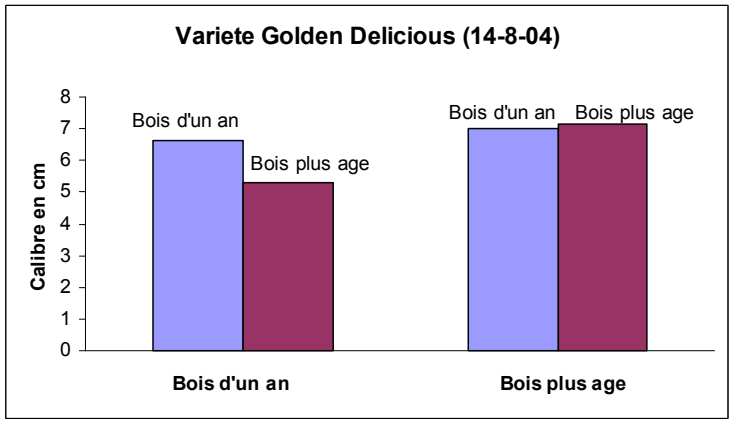

Figure 8-3-11 : Calibre des fruits en cm (14-8-04)/ type de bois/ type de conduite

8-3-1-3-3 : <u>Variété Granny Smith :</u>

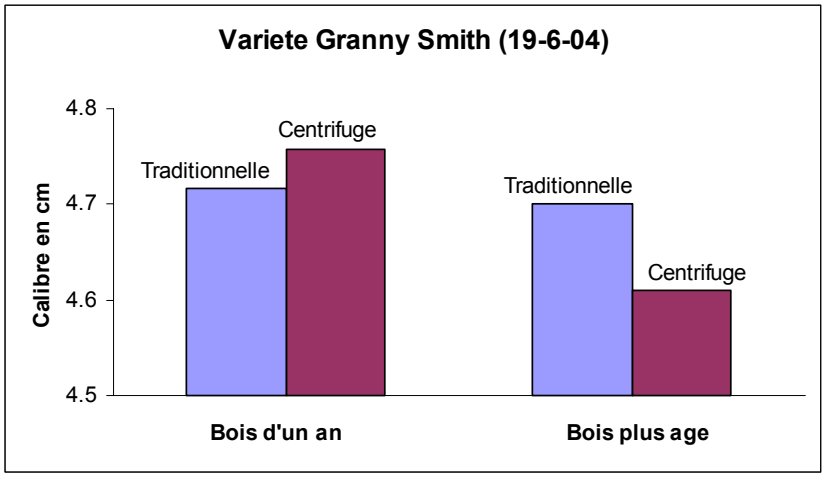

Figure 8-3-12 : Calibre des fruits en cm (19-6-04)/ type de bois/ type de conduite

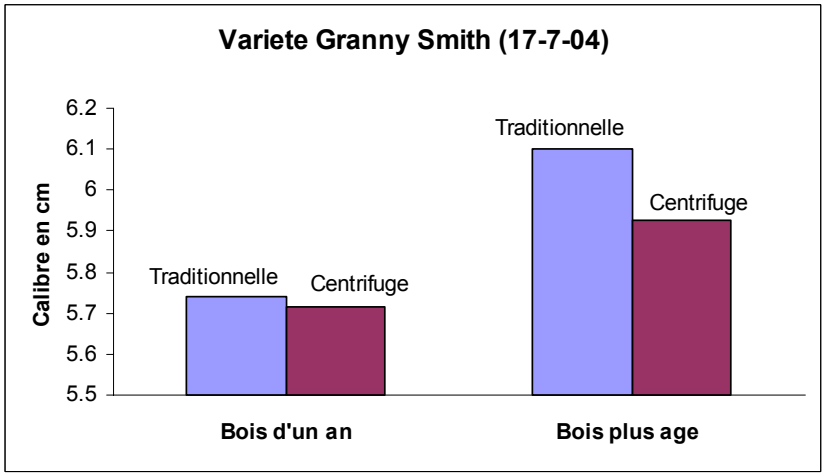

Figure 8-3-13 : Calibre des fruits en cm (18-8-04)/ type de bois/ type de conduite

8-4- Annexe IV :

8-4-1- Visualisation des structures des arbres par le logiciel Vegestar 3 :

8-4-1-1- Variété Scarlet Spur en conduite traditionnelle :

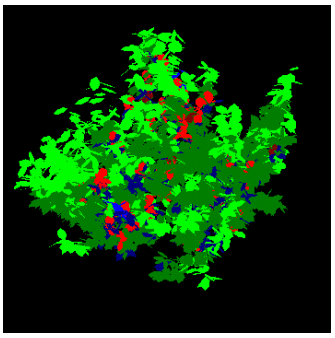

Figure 8-4-1 : SS 2-8

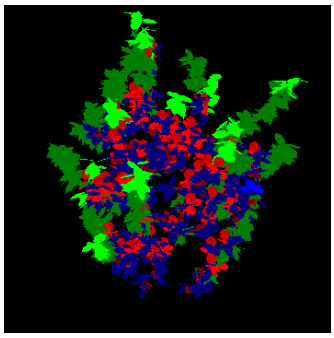

Figure 8-4-2 : SS 4-18

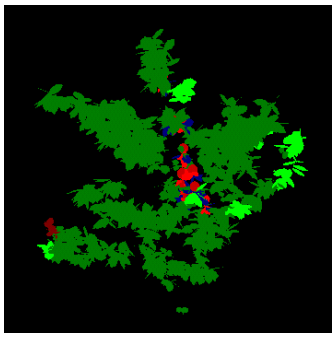

Figure 8-4-3 : SS 6-8

8-4-1-2- Variété Golden Delicious en conduite traditionnelle :

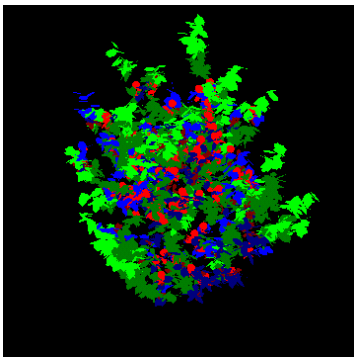

Figure 8-4-4 : GD 2-10

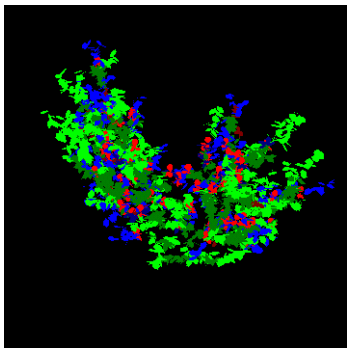

Figure 8-4-5 : GD 4-5

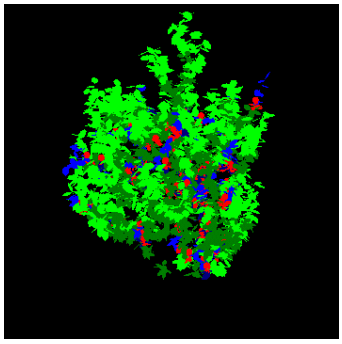

Figure 8-4-6 : GD 6-9

8-4-1-3- Variété Granny Smith en conduite traditionnelle :

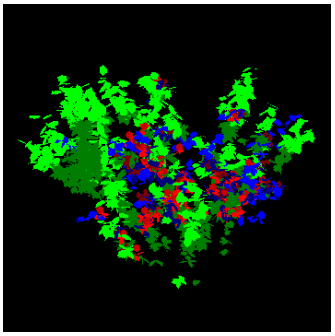

Figure 8-4-7 : GS 2-14

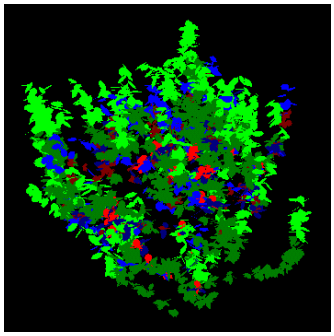

Figure 8-4-8 : GS 4-3

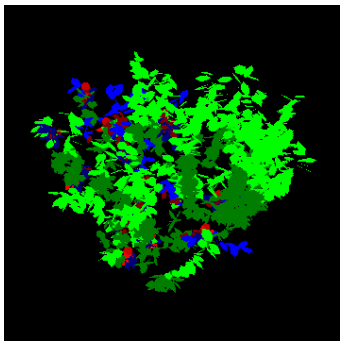

Figure 8-4-9 : GS 6-13

8-4-1-4- <u>Variété Scarlet Spur en conduite centrifuge :</u>

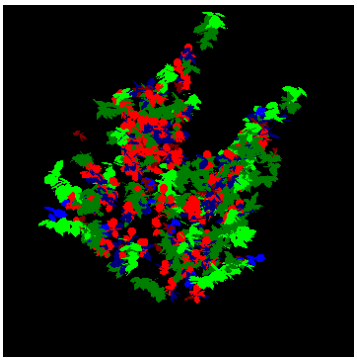

Figure 8-4-10 : SS 2-8

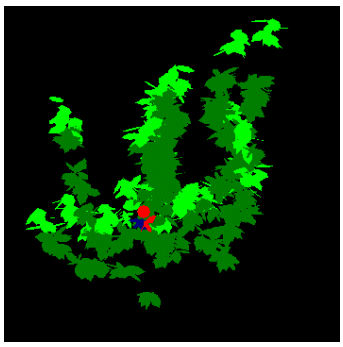

Figure 8-4-11 : SS 4-18

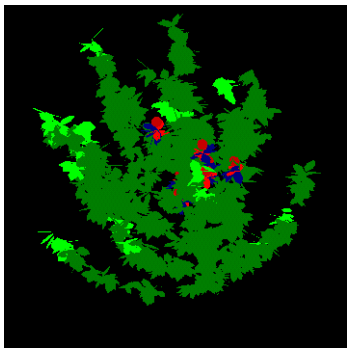

Figure 8-4-12 : SS 6-8

8-4-1-5- <u>Variété Golden Delicious en conduite centrifuge :</u>

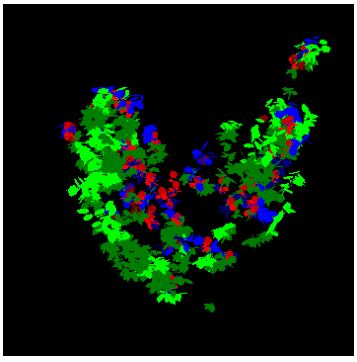

Figure 8-4-13 : GD 2-9

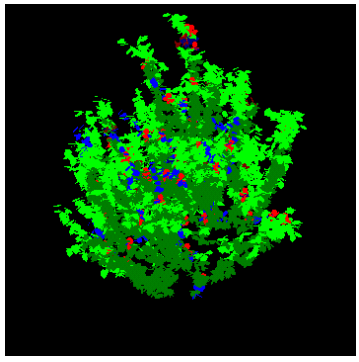

Figure 8-4-14 : GD 4-6

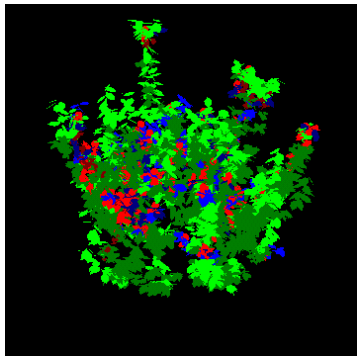

Figure 8-4-15 : GD 6-10

8-4-1-6- <u>Variété Granny Smith en conduite centrifuge :</u>

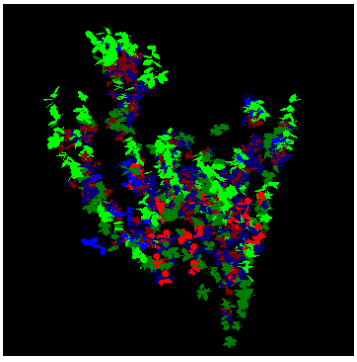

Figure 8-4-16 : GS 2-13

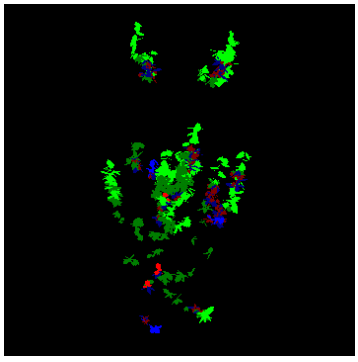

Figure 8-4-17 : GS 4-4

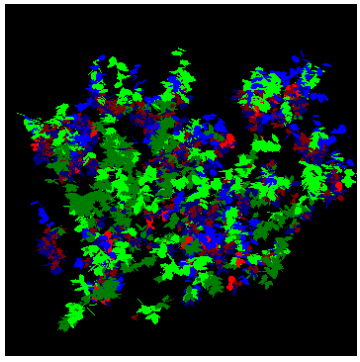

Figure 8-4-18 : GS 6-14

■ : pousses végétatives courtes
■ : pousses florifères courtes
■ : fleurs
■ : pousses végétatives longues
■ : pousses florifères longues
■ : fruits